N° 82-003-X au catalogue
ISSN 1209-1375

Rapports sur la santé

Différences d'ordre socioéconomique dans l'exposition à la pollution de l'air ambiant par le dioxyde d'azote chez les enfants des trois plus grandes villes canadiennes

par Lauren Pinault, Daniel Crouse, Michael Jerrett, Michael Brauer et Michael Tjepkema

Date de diffusion : le 20 juillet 2016

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros sans frais suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-877-287-4369

Programme des services de dépôt

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « Normes de service à la clientèle ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Signes conventionnels dans les tableaux

Les signes conventionnels suivants sont employés dans les publications de Statistique Canada :

.	indisponible pour toute période de référence
..	indisponible pour une période de référence précise
...	n'ayant pas lieu de figurer
0	zéro absolu ou valeur arrondie à zéro
0^s	valeur arrondie à 0 (zéro) là où il y a une distinction importante entre le zéro absolu et la valeur arrondie
^{p}	provisoire
^{r}	révisé
x	confidentiel en vertu des dispositions de la *Loi sur la statistique*
^{E}	à utiliser avec prudence
F	trop peu fiable pour être publié
*	valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p<0,05$)

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Ministre de l'Industrie, 2016

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'entente de licence ouverte de Statistique Canada.

Une version HTML **est aussi disponible.**

This publication is also available in English.

Différences d'ordre socioéconomique dans l'exposition à la pollution de l'air ambiant par le dioxyde d'azote chez les enfants des trois plus grandes villes canadiennes

par Lauren Pinault, Daniel Crouse, Michael Jerrett, Michael Brauer et Michael Tjepkema

Résumé

Contexte : Le dioxyde d'azote (NO_2) est un marqueur de la pollution de l'air attribuable à la circulation, pour lequel on constate de forts gradients spatiaux dans les grandes villes. Des études antérieures ont montré que dans les villes canadiennes, l'exposition au NO_2 dans l'air ambiant est plus grande dans les quartiers à faible statut socioéconomique (SSE). À cause de cette différence dans l'exposition, les problèmes de santé liés à la pollution de l'air pourraient être plus courants chez les enfants des quartiers urbains à faible SSE.

Données et méthodes : Les données pour les enfants de moins de 18 ans dénombrés lors du Recensement de 2006 qui vivaient à Toronto, à Montréal ou à Vancouver ont été couplées à des modèles publiés de régression de l'utilisation des terres et de la pollution de l'air, afin d'attribuer une cote d'exposition selon l'aire de diffusion (AD). Les associations entre le SSE ainsi que l'appartenance à une minorité visible d'une part, et l'exposition au NO_2 dans l'air ambiant, d'autre part, chez les enfants vivant dans ces trois villes ont été examinées à l'aide d'une série de modèles de régression (modèles de régression par les moindres carrés ordinaires [MCO] et modèles d'autorégression simultanée tenant compte de l'autocorrélation spatiale).

Résultats : Dans les trois villes, les enfants vivant dans une AD à faible revenu étaient exposés à des concentrations de NO_2 plus élevées que les enfants vivant dans une AD à revenu élevé (différence moyenne de 2 parties par milliard [ppb] entre les quintiles de revenu supérieur et inférieur). Dans certaines villes, les AD où vivaient de plus forts pourcentages d'enfants appartenant à une famille monoparentale et d'enfants membres d'une minorité visible étaient caractérisées par une exposition plus élevée au NO_2.

Interprétation : L'incidence relativement élevée de maladies liées à la pollution de l'air (p. ex. l'asthme) chez les enfants des quartiers à plus faible SSE peut en partie s'expliquer par les variations d'exposition à la pollution de l'air par le NO_2 dans la même ville.

Mots-clés : Pollution de l'air, asthme, hygiène du milieu, quintile de revenu, dioxyde d'azote

L'exposition environnementale au dioxyde d'azote (NO_2), qui est principalement un sous-produit du système d'échappement des véhicules et de la combustion incomplète de combustibles fossiles, a été associée à des hospitalisations d'urgence pour des troubles respiratoires chez les adultes du quintile de revenu inférieur dans les grandes villes canadiennes[1]. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que les enfants pourraient être encore plus vulnérables aux effets de la pollution de l'air à cause de leur plus grande susceptibilité aux atteintes au système respiratoire et à leur fréquence respiratoire plus élevée, deux facteurs qui exacerbent les effets de l'exposition[2,3]. Une étude d'une série chronologique portant sur des enfants d'âge scolaire à Vancouver a révélé que les garçons risquaient davantage d'être hospitalisés pour un problème d'asthme après une augmentation de l'exposition au NO_2 dans l'air ambiant s'ils venaient d'un milieu au statut socioéconomique (SSE) faible que s'ils venaient d'un milieu au SSE plus élevé[2].

L'exposition des enfants au NO_2 a été associée à un risque accru d'asthme, de respiration sifflante, d'infections de l'oreille, du nez et de la gorge, de grippe et de rhume grave[4-7]; à une fonction pulmonaire réduite[8]; et à des infections des voies respiratoires plus graves chez ceux souffrant d'asthme[9]. Une étude menée en Californie a révélé que chaque augmentation de 5,7 parties par milliard (ppb) de l'exposition au NO_2 était associée à une prévalence de l'asthme presque doublée[5]. Selon une étude comparable menée à Vancouver, l'exposition à des augmentations de NO_2 de 10 µg/m³ durant la première année de vie augmente significativement la cote exprimant le risque de souffrir d'asthme[6]. Outre ces résultats pour la santé, l'exposition à la pollution de l'air a été associée à une moins bonne assiduité à l'école et à des résultats scolaires inférieurs dans le nord-est des États-Unis[3].

Des études antérieures menées au Canada ont révélé d'importantes variations intra-urbaines dans l'exposition au NO_2 en milieu résidentiel chez les adultes[10] et ont établi une corrélation entre certaines caractéristiques socioéconomiques du quartier, comme le faible revenu, le faible niveau de scolarité et la faible valeur du logement, et des expositions accrues[10,11].

Il est possible que l'exposition au NO_2 varie au sein d'une même ville et que les enfants vivant dans des quartiers à faible revenu soient plus exposés que ceux vivant dans des quartiers à revenu élevé[2]. La présente étude vise à déterminer si l'exposition au NO_2 dans les trois plus grandes villes canadiennes — Toronto, Montréal et Vancouver — était supérieure chez les enfants de faible SSE et chez les enfants appartenant à une minorité visible.

Données et méthodes

Les données sur l'exposition au dioxyde d'azote sont tirées de modèles publiés de régression de l'utilisation des terres (RUT) pour Toronto, Montréal et Vancouver, qui ont été mis au point à partir d'un ensemble exhaustif d'échantillons de NO_2 mesurés sur place et d'ensembles de données décrivant les caractéris-

Authors: Lauren Pinault (lauren.pinault@canada.ca) et Michael Tjepkema travaillent à la Division de l'analyse de la santé de Statistique Canada. Daniel Crouse travaille au Département de sociologie de l'Université du Nouveau-Brunswick. Michael Jerrett travaille à l'École de santé publique Fielding de l'Université de Californie. Michael Brauer travaille à l'École de la santé de la population et de la santé publique de l'Université de la Colombie-Britannique.

tiques de l'utilisation des terres locales, comme des recensements de la circulation, les profils d'utilisation des terres, la densité de la population et la densité routière[12-14]. Le modèle de RUT pour Montréal porte sur les concentrations annuelles moyennes en 2006. Pour Toronto et Vancouver, les modèles relatifs au NO_2 sont fondés sur les données de 2003 et 2010, respectivement, qui ont été ajustées en fonction des observations du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique d'Environnement Canada afin de les harmoniser avec les valeurs moyennes pour l'ensemble de la ville en 2006[15]. Cette correction pour tenir compte de l'année est appuyée par des analyses canadiennes et européennes montrant que les modèles spatiaux pour le NO_2 sont cohérents au fil du temps[14,16,17].

Les données socioéconomiques et démographiques ainsi que les données sur l'appartenance à une minorité visible ont été dérivées à partir des réponses au questionnaire détaillé du Recensement du Canada de 2006, qui représentent un échantillon aléatoire de 20 % des trois populations urbaines étudiées[18]. Les enfants inclus dans l'étude sont ceux qui vivaient à l'intérieur des limites des modèles de RUT pour Toronto, Montréal ou Vancouver[12-14], avaient moins de 18 ans et ne vivaient pas dans un établissement. Les RUT ne comprennent pas toutes les collectivités suburbaines de la région du Grand Toronto, ni les régions en dehors de l'île de Montréal. Les variables dérivées pour chaque enfant étaient les suivantes : revenu du ménage avant impôt, appartenance à une famille monoparentale, appartenance à une minorité visible, âge et sexe. On entend par minorités visibles les personnes, autres que les Autochtones, qui ne sont pas de race blanche ou qui n'ont pas la peau blanche[18].

Les données pour les participants ont été regroupées à l'échelle de l'aire de diffusion (AD). Une AD correspond à un ou plusieurs îlots de diffusion du Recensement comptant une population totale de 400 à 700 personnes[18]. Un système d'information géographique (ArcGIS v. 10, ESRI 2010) a été utilisé pour établir le lieu de résidence approximatif des participants à l'aide de la version 5K du Fichier de conversion des codes postaux plus (FCCP+) de Statistique Canada[19]. Le programme FCCP+ utilise un algorithme de répartition aléatoire pondérée selon la population pour établir des emplacements centroïdes approximatifs en fonction du code postal, selon un taux d'erreur de 1,4 % dans les régions métropolitaines de recensement[19]. Ces emplacements ont été utilisés pour apparier spatialement les participants à une estimation de la concentration moyenne de NO_2 dans l'atmosphère, estimée au niveau de l'AD. Ainsi, la moyenne de NO_2 au niveau de l'AD a été calculée comme correspondant à la valeur moyenne de toutes les estimations du NO_2 (estimations ponctuelles) en milieu résidentiel pour tous les enfants dans chaque AD. Les estimations au niveau de l'AD sont donc pondérées selon le lieu de résidence. Les statistiques descriptives, comme les valeurs moyennes de la concentration de NO_2 pour des sous-populations spécifiques, ont été calculées à partir de cet ensemble de données couplées géographiquement. Bien que le revenu du ménage ait été utilisé dans les modèles de régression, les valeurs moyennes de la concentration de NO_2 sont fournies par quintile de revenu, établi selon le revenu avant impôt de tous les ménages dénombrés dans le Recensement de 2006 dans la région métropolitaine de chaque ville.

Différents modèles de régression par les moindres carrés ordinaires (MCO) ont été utilisés pour explorer les associations entre les estimations de la pollution de l'air par le NO_2 et les variables décrites ci-dessus, au niveau de l'AD. Des analyses distinctes ont été faites pour chaque ville. Les modèles ont été ajustés pour tous les enfants de moins de 18 ans, ainsi que pour les groupes d'âge des bébés (0 à 1 an), des enfants (2 à 12 ans) et des adolescents (13 à 17 ans). Ces groupes d'âge ont été choisis en fonction des analyses préliminaires des relations entre l'âge et l'exposition à la pollution de l'air ambiant dans les trois villes. Dans toutes les combinaisons d'une ville et d'un groupe d'âge, les résidus des modèles par les MCO ont révélé une autocorrélation spatiale (indiquée par la statistique *I* de Moran); en conséquence, les modèles d'autorégression simultanée (SAR) ont été ajustés concurremment pour tenir compte de l'autocorrélation spatiale et obtenir des seuils de signification plus prudents pour les variables[20,21]. Les poids spatiaux du modèle SAR ont été dérivés à l'aide d'une matrice de contiguïté de type « reine », qui tient compte de toutes les AD voisines pour le calcul de la matrice des poids spatiaux[21]. Les statistiques du test du multiplicateur de Lagrange ont servi à déterminer lequel du modèle de décalage spatial ou du modèle d'erreur spatiale pour l'autorégression simultanée est le plus approprié dans chacun des cas[21].

Résultats

Les valeurs moyennes de la concentration en NO_2 dans les trois villes allaient de 19,1 ppb à Montréal à 23,3 ppb à Toronto (tableau 1). L'exposition moyenne au NO_2 augmente généralement à mesure que l'on descend vers les quintiles inférieurs de revenu du ménage, les enfants du quintile de revenu inférieur affichant l'exposition moyenne la plus élevée à Toronto et à Vancouver (tableau 1, figure 1). Dans toutes les villes, l'exposition au NO_2 était la plus élevée chez les bébés et la moins élevée chez les adolescents (tableau 1). L'exposition au NO_2 des enfants de familles monoparentales et de minorités visibles était généralement supérieure à la moyenne pour la ville, sauf dans le cas des enfants appartenant à une minorité visible à Toronto (tableau 1).

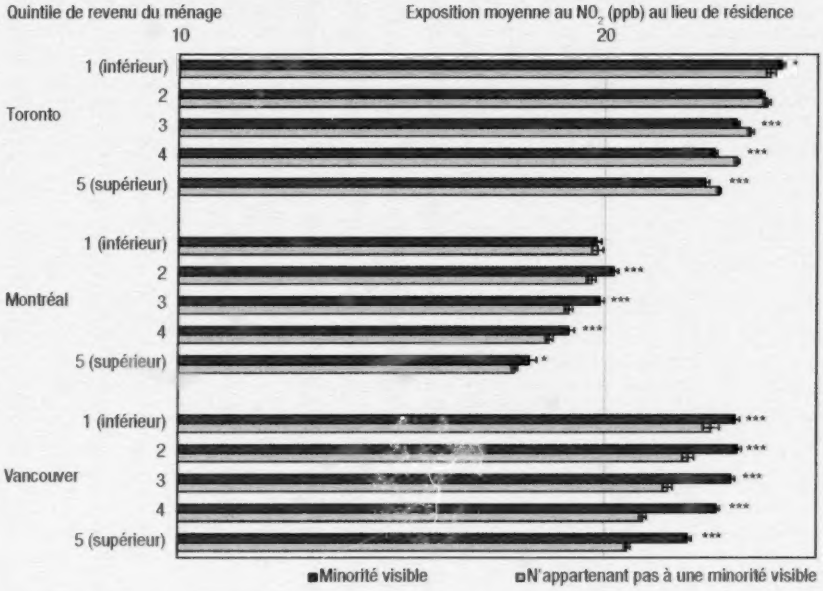
Les modèles SAR donnaient généralement des résultats comparables à ceux des modèles par les MCO, mais produisaient des estimations plus prudentes du degré de signification et donnaient un meilleur ajustement, comme en témoignent les valeurs supérieures du logarithme du rapport de vraisemblance et les valeurs inférieures du critère d'information d'Akaike (tableaux 2 à 4). Dans chaque ville, l'âge moyen des enfants d'une AD

était associé de façon négative à l'exposition à la pollution de l'air ambiant. Ainsi, l'exposition au NO_2 était inférieure dans les AD où les enfants étaient plus âgés (tableaux 2 à 4). Le sexe n'était significatif dans aucun des modèles SAR (tableaux 2 à 4), ce qui correspond avec l'observation que l'exposition au NO_2 des garçons et des filles se comparait aux moyennes dans chaque ville (tableau 1).

Sauf dans un cas, la pollution de l'air dans toutes les villes était associée de façon négative avec un revenu du ménage élevé au niveau de l'AD pour les modèles par les MCO et les modèles SAR (tableaux 2 à 4). Toutefois, à Montréal, le revenu du ménage dans le modèle SAR pour tous les âges n'était pas significatif ($p = 0{,}087$), bien qu'il l'était dans le modèle par les MCO pour chaque groupe d'âge.

Dans les AD ayant un pourcentage élevé d'enfants appartenant à une famille monoparentale, on a constaté une exposition au NO_2 plus élevée dans les modèles pour tous les âges à Toronto et à Vancouver. Cette relation était aussi significative pour les enfants à Toronto et à Vancouver selon les modèles SAR, ainsi que pour les adolescents à Vancouver selon le modèle SAR (tableaux 2 et 4). Toutefois, dans le

Figure 1
Exposition moyenne à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote (NO_2) en milieu résidentiel, selon le quintile de revenu du ménage et l'appartenance à une minorité visible, population de 0 à 17 ans, Toronto, Vancouver et Montréal, 2006



* différence significative entre les enfants appartenant à une minorité visible et les enfants n'appartenant pas à une minorité visible ($p < 0{,}05$)
*** différence significative entre les enfants appartenant à une minorité visible et les enfants n'appartenant pas à une minorité visible ($p < 0{,}001$)
I = Intervalle de confiance de 95 %
Note : Les résultats du test post-hoc de Tukey-Kramer sont fournis pour l'écart d'exposition entre les enfants appartenant à une minorité visible et les enfants de race blanche dans chaque quintile de revenu pour chaque ville.
Sources : Recensement du Canada de 2006; Environnement Canada, Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique.

Tableau 1
Exposition moyenne à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote (NO_2) en milieu résidentiel, selon certaines caractéristiques socioéconomiques, population de 0 à 17 ans, Toronto, Vancouver et Montréal, 2006

	Toronto				Vancouver				Montréal			
		Intervalle de confiance de 95 %				Intervalle de confiance de 95 %				Intervalle de confiance de 95 %		
Caractéristiques socioéconomiques	Concentration moyenne en NO_2 (ppb)	de	à	Nombre	Concentration moyenne en NO_2 (ppb)	de	à	Nombre	Concentration moyenne en NO_2 (ppb)	de	à	Nombre
Total – 0 à 17 ans	23,3	23,2	23,3	119 840	22,0	22,0	22,0	75 730	19,1	19,1	19,2	67 890
Quintile de revenu du ménage												
1 (inférieur)	24,1	24,0	24,1	20 480	22,9	22,8	23,0	8 920	19,8	19,7	19,9	9 270
2	23,7	23,7	23,8	25 710	22,8	22,7	22,9	12 550	20,0	19,9	20,1	13 420
3	23,2	23,2	23,3	23 800	22,4	22,3	22,5	14 810	19,5	19,4	19,6	14 680
4	22,9	22,8	22,9	23 640	21,8	21,7	21,8	18 510	18,8	18,8	18,9	13 620
5 (supérieur)	22,6	22,6	22,6	26 220	21,1	21,1	21,2	20 950	18,0	17,9	18,0	16 890
Groupe d'âge												
0 à 1 an	23,7	23,6	23,8	13 010	22,7	22,6	22,8	7 480	19,8	19,7	19,9	7 650
2 à 12 ans	23,2	23,2	23,3	71 510	22,0	22,0	22,0	44 350	19,2	19,1	19,2	40 350
13 à 17 ans	23,2	23,1	23,2	35 330	21,8	21,8	21,9	23 920	18,8	18,7	18,8	19 890
Famille monoparentale	23,9	23,8	23,9	24 310	22,6	22,5	22,7	12 800	19,6	19,5	19,6	16 200
Minorité visible	23,3	23,3	23,4	68 730	22,8	22,7	22,8	41 020	19,7	19,7	19,8	25 690
Sexe féminin	23,3	23,2	23,3	57 980	22,0	21,9	22,0	36 690	19,2	19,1	19,2	33 170

Note : Pour préserver la confidentialité des données, les tailles des échantillons ont été arrondies au multiple de 10 le plus près.
Sources : Recensement du Canada de 2006; Environnement Canada, Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique.

Tableau 2
Résultats du modèle de régression par les moindres carrés ordinaires (MCO) et du modèle d'autorégression simultanée (SAR) pour les associations entre certaines caractéristiques socioéconomiques et l'exposition à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote en milieu résidentiel, selon le groupe d'âge, population de 0 à 17 ans, aires de diffusion de Toronto, 2006

	Total – 0 à 17 ans				0 à 1 an				2 à 12 ans				13 à 17 ans			
	n = 4 220				n = 3 446				n = 4 113				n = 4 195			
Ajustement du modèle	**MCO**		**SAR (décalage)**		**MCO**		**SAR (erreur)**		**MCO**		**SAR (erreur)**		**MCO**		**SAR (décalage)**	
R^2 corrigé	0,073				0,014				0,048				0,042			
Logarithme du rapport de vraisemblance	-11696		-7236		-9717		-6650		-11341		-7127		-11667		-7360	
AIC	23403		14485		19445		13310		22723		14265		23344		14731	
Autocorrélation spatiale	**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**		
I de Moran	0,85	94,35*			0,86	78,74*			0,85	92,65*			0,86	95,61*		
Caractéristiques socioéconomiques	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**
Revenu du ménage†	-0,86	-7,54*	-0,15	-4,46*	-0,66	-6,67*	-0,15	-4,13*	-0,93	-9,55*	-0,20	-6,05*	-1,00	-8,61*	-0,18	-4,99*
Famille monoparentale	3,13	7,99*	0,33	2,77*	0,11	0,40	0,08	0,88	1,80	7,11*	-0,11	-1,40*	2,38	7,02*	0,12	1,12
Minorité visible	-1,23	-5,55*	0,11	1,59	-0,72	-4,10*	0,23	3,26*	-0,94	-5,08*	0,19	2,69*	-1,12	-5,34*	0,12	1,88
Sexe féminin	0,42	0,93	0,07	0,48	-0,21	-1,14	-0,11	-1,81	0,08	0,33	-0,04	-0,57	0,46	1,36	0,12	1,16
Âge	-0,38	-11,66*	-0,04	-3,72*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ordonnée à l'origine	36,65	26,32*	3,01	6,69*	31,64	27,15*	24,97	46,82*	34,14	29,01*	23,89	39,60*	34,87	24,89*	3,03	6,52*

... n'ayant pas lieu de figurer
* valeur significative à $p < 0,05$
† le revenu du ménage a été transformé logarithmiquement avant l'analyse
AIC = critère d'information d'Akaike
IM = statistique *I* de Moran
Sources : Recensement du Canada de 2006; Environnement Canada, Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique.

Tableau 3
Résultats du modèle de régression par les moindres carrés ordinaires (MCO) et du modèle d'autorégression simultanée (SAR) pour les associations entre certaines caractéristiques socioéconomiques et l'exposition à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote en milieu résidentiel, selon le groupe d'âge, population de 0 à 17 ans, aires de diffusion de Montréal, 2006

	Total – 0 à 17 ans				0 à 1 an				2 à 12 ans				13 à 17 ans			
	n = 3 126				n = 2 605				n = 3 111				n = 3 005			
Ajustement du modèle	**MCO**		**SAR (décalage)**		**MCO**		**SAR (décalage)**		**MCO**		**SAR (décalage)**		**MCO**		**SAR (erreur)**	
R^2 corrigé	0,085				0,022				0,050				0,048			
Logarithme du rapport de vraisemblance	-8827		-6392		-7496		-5777		-8859		-6464		-8529		-6328	
AIC	17665		12898		15003		11602		17728		12977		17069		12667	
Autocorrélation spatiale	**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**		
I de Moran	0,79	77,46*			0,80	64,71*			0,82	79,31*			0,80	75,34*		
Caractéristiques socioéconomiques	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**
Revenu du ménage†	-0,89	-5,16*	-0,12	-1,71	-0,80	-5,83*	-0,14	-2,18*	-1,23	-7,61*	-0,19	-2,85*	-1,05	-7,48*	-0,14	-2,14*
Famille monoparentale	1,72	3,96*	0,28	1,54	0,24	0,67	0,18	1,08	0,83	2,25*	0,11	0,70	0,96	3,33*	<0,01	0,03
Minorité visible	1,03	3,21*	0,30	2,25*	0,43	1,86	0,22	2,01*	0,98	3,39*	0,28	2,31*	0,86	3,27*	0,15	1,22
Sexe féminin	0,17	0,34	0,01	0,06	0,01	0,06	0,05	0,48	0,77	1,93	0,23	1,38	-0,05	-0,17	0,06	0,56
Âge	-0,43	-10,59*	-0,06	-3,60*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ordonnée à l'origine	32,22	16,01*	3,47	0,86*	28,14	18,20*	3,95	5,29*	32,19	17,08*	3,68	4,53*	30,55	18,63*	21,19	26,70*

... n'ayant pas lieu de figurer
* valeur significative à $p < 0,05$
† le revenu du ménage a été transformé logarithmiquement avant l'analyse
AIC = critère d'information d'Akaike
IM = statistique *I* de Moran
Sources : Recensement du Canada de 2006; Environnement Canada, Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique.

modèle SAR, le pourcentage des enfants appartenant à une famille monoparentale dans une AD n'était pas associé de façon significative avec l'exposition au NO_2 à Montréal (tableau 3).

La relation entre le quintile de revenu du ménage et l'exposition à la pollution de l'air était comparable dans toutes les villes, quelle que soit l'appartenance à une minorité visible. À Montréal et à Vancouver, toutefois, l'exposition au NO_2 des enfants appartenant à une minorité visible était généralement supérieure à celle des enfants du même quintile de revenu ne faisant pas partie d'une minorité visible, sauf en ce qui concerne les enfants du quartile de revenu inférieur à Montréal (figure 1). Dans ces deux villes, les AD ayant un pourcentage élevé d'enfants appartenant à une minorité visible étaient associées à une exposition plus

Tableau 4
Résultats du modèle de régression par les moindres carrés ordinaires (MCO) et du modèle d'autorégression simultanée (SAR) pour les associations entre certaines caractéristiques socioéconomiques et l'exposition à la pollution de l'air par le dioxyde d'azote en milieu résidentiel, selon le groupe d'âge, population de 0 à 17 ans, aires de diffusion de Vancouver, 2006

	Total – 0 à 17 ans				0 à 1 an				2 à 12 ans				13 à 17 ans			
	n = 3 067				n = 2 515				n = 3 039				n = 2 942			
Ajustement du modèle	**MCO**		**SAR (décalage)**		**MCO**		**SAR (erreur)**		**MCO**		**SAR (erreur)**		**MCO**		**SAR (décalage)**	
R^2 corrigé	0,191				0,037				0,119				0,144			
Logarithme du rapport de vraisemblance	-8619		-6088		-7351		-5661		-8658		-6188		-8180		-6163	
AIC	17251		12190		14712		11333		17327		12386		16370		12338	
Autocorrélation spatiale	**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**			**IM**	**z**		
I de Moran	0,76	73,13*			0,81	63,41*			0,81	77,16*			0,74	67,73*		
Caractéristiques socioéconomiques	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**	**coeff.**	**t**	**coeff.**	**z**
Revenu du ménage†	-1,12	-6,03*	-0,27	-3,67*	-1,04	-7,26*	-0,31	-4,77*	-1,43	-8,02*	-0,27	-3,41*	-1,27	-8,90*	-0,24	-3,72*
Famille monoparentale	3,45	6,48*	0,71	3,40*	-0,09	-0,20	0,09	0,52	2,64	5,91*	0,60	3,49*	2,06	6,42*	0,43	2,94*
Minorité visible	3,22	11,84*	0,46	4,25*	1,15	5,17*	0,04	0,38	2,80	10,83*	0,64	4,69*	2,87	12,68*	0,50	4,80*
Sexe féminin	-0,38	-0,73	0,28	1,35	-0,20	-0,83	<0,01	-0,03	1,26	3,04*	0,03	0,20	-0,40	-1,35	0,12	0,89
Âge	-0,64	-17,02*	-0,06	-4,20*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ordonnée à l'origine	39,19	17,97*	5,34	5,87*	34,23	20,85*	26,38	32,71*	36,41	17,23*	25,44	25,50*	35,14	20,80*	5,06	6,22*

... n'ayant pas lieu de figurer
* valeur significative à $p < 0,05$
† le revenu du ménage a été transformé logarithmiquement avant l'analyse
AIC = critère d'information d'Akaike
IM = statistique *I* de Moran
Sources : Recensement du Canada de 2006; Environnement Canada, Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique.

élevée au NO_2 dans l'air ambiant. Cette relation significative (dans les modèles SAR) a été observée chez les enfants dans l'ensemble et le groupe des 2 à 12 ans dans les deux villes, ainsi que chez les adolescents de 13 à 17 ans à Vancouver (tableaux 3 et 4). À Toronto, on n'a constaté aucune différence constante entre les enfants appartenant à une minorité visible et ceux de race blanche dans les quintiles de revenu (figure 1). De même, l'appartenance à une minorité visible n'était pas significative dans le modèle SAR pour Toronto pour l'ensemble des enfants (tableau 2).

Discussion

Dans les trois plus grandes villes du Canada, les enfants vivant dans une AD à faible revenu étaient exposés à des concentrations de NO_2 plus élevées que les enfants vivant dans une AD à revenu élevé. En outre, à Toronto et à Vancouver, les AD ayant un fort pourcentage d'enfants appartenant à une famille monoparentale étaient associées à une exposition plus élevée, bien que la signification statistique de cette différence varie selon le groupe d'âge. Ces résultats soutiennent l'hypothèse que les différences entre la santé respiratoire des enfants de SSE faible et ceux de SSE élevé pourraient, au moins en partie, être liées aux différences dans l'exposition au NO_2[2]. De plus, les enfants appartenant à un ménage à faible revenu pourraient être plus vulnérables aux effets de la pollution de l'air en raison d'une susceptibilité inhérente accrue attribuable à une moins bonne santé générale ou à des problèmes de santé spécifiques liés à un faible SSE[22]. Les effets combinés de l'exposition et de la susceptibilité aux effets de la pollution atmosphérique chez les adultes selon que le SSE est faible ou élevé sont difficiles à évaluer quantitativement[23]. Par ailleurs, certaines différences selon le SSE dans la prévalence de l'asthme chez les enfants ressorties d'études antérieures pourraient s'expliquer par d'autres facteurs bien documentés relatifs à un faible SSE, notamment le recours moindre aux soins de santé et l'exposition accrue à la fumée secondaire à la maison, ou l'usage du tabac à un âge plus précoce[24,25], soit autant de facteurs qui ne sont pas pris en compte dans la présente analyse.

L'étude révèle aussi que l'exposition au NO_2 dans l'air ambiant diminuait avec l'âge dans les trois villes. Cette diminution de l'exposition pourrait être liée à des changements de SSE du ménage qui influent sur l'endroit où les familles choisissent de vivre. En règle générale, le revenu du ménage (sur le marché du travail) augmente au fil du temps[26] et donc, de l'âge des enfants. De plus, les parents sont plus susceptibles d'être propriétaires à mesure qu'ils avancent en âge[27]. Ces tendances pourraient favoriser le fait que les familles de plus longue date vivent dans des quartiers plus recherchés. De fait, une étude menée dans ces trois villes montre que les familles ayant des enfants de moins de six ans étaient moins susceptibles de quitter les quartiers à faible revenu que les familles n'ayant pas de jeunes enfants[28]. Les quartiers recherchés peuvent être plus éloignés des autoroutes et des grandes artères et donc avoir une concentration en NO_2 dans l'air ambiant inférieure à celle d'autres secteurs de la ville.

Une étude nationale menée aux États-Unis en 2014 a révélé que les adultes appartenant à une minorité visible étaient davantage exposés au NO_2 dans l'air ambiant que les adultes de race blanche (4,6 ppb), tandis que le revenu était un facteur moins important[22]. La présente analyse révèle que dans chaque ville, les enfants appartenant à un ménage à

faible revenu étaient davantage exposés au NO_2, mais le rôle de l'appartenance à une minorité visible variait d'une ville à l'autre. À Vancouver, les enfants appartenant à une minorité visible et à un ménage à faible revenu étaient exposés à de plus fortes concentrations de NO_2 que les enfants de race blanche de tous les quintiles de revenu du ménage. La relation entre l'appartenance à une minorité visible et l'exposition au NO_2 était moins claire à Toronto et à Montréal. D'autres recherches fondées sur un échantillon plus large sont nécessaires pour déterminer les différences d'exposition dans des groupes spécifiques de minorités visibles.

La disparité d'exposition au NO_2 entre les enfants des quintiles de revenu du ménage inférieur et supérieur (de 1,5 ppb à Toronto à 1,9 ppb à Montréal) était plus grande que celle observée pour les autres variables. Cette disparité intra-urbaine se rapproche de celle qui a été constatée chez les enfants d'âge scolaire de Malmö, en Suède, où l'exposition moyenne au NO_2 en milieu résidentiel allait de 7,6 ppb dans le groupe de revenu supérieur à 10,2 ppb dans le groupe de revenu inférieur, soit une différence de 2,6 ppb[29].

Les résultats d'une étude menée en 2015 auprès d'adultes des dix plus grandes villes canadiennes montrent que pour chaque tranche de 5 ppb d'exposition au NO_2 dans l'air ambiant, le risque de mortalité d'une cause non accidentelle et d'une cardiopathie ischémique augmente de 5 %, et le risque de mortalité d'une maladie respiratoire augmente de 4 %[15]. Étant donné la susceptibilité éventuellement supérieure des enfants aux effets de la pollution de l'air, il est possible que des différences de cet ordre puissent avoir un effet mesurable sur les résultats en matière de santé, comme l'asthme et d'autres maladies respiratoires. Une étude menée à Toronto auprès d'enfants de 5 à 9 ans a révélé une association entre l'exposition au NO_2 à la naissance et le risque d'être atteint d'asthme ou de respiration sifflante[30], bien que cette association soit plus forte chez les enfants ayant une allergie[31].

Limites

Malgré les résultats significatifs des modèles statistiques, les estimations de l'exposition étaient fondées sur des estimations de la concentration en NO_2 dérivées à partir de modèles de RUT. Toute erreur introduite durant la création des modèles de RUT, y compris les erreurs d'interpolation et de mesure (par exemple, dans les recensements de la circulation), aurait une incidence sur les mesures ponctuelles attribuées aux enfants pour les besoins de la présente étude. L'utilisation de données agrégées plutôt que de données individuelles ponctuelles dans les modèles de régression et le recours à de grands échantillons d'enfants (20 % de la population) ont probablement été des facteurs médiateurs de la plus grande part d'une telle erreur.

La détermination du lieu de résidence des enfants dans le système d'information géographique dépendait du modèle du FCCP+, qui est très précis dans les centres urbains, mais introduit un certain degré d'erreur dans la définition de l'emplacement des centroïdes des codes postaux. Dans la présente étude, les lieux de résidence ont été déterminés en fonction du code postal, dont la précision dépend du nombre de résidences pour chaque code postal. Il est probable que le recours à des ensembles de données agrégées (AD) dans les modèles de régression constitue un facteur médiateur pour une partie de l'erreur dans la détermination de l'emplacement des lieux de résidence.

L'analyse se fonde sur les expositions dans l'environnement et dans l'air ambiant (à l'extérieur) au lieu de résidence de l'enfant pour évaluer les différences d'exposition. Toutefois, l'exposition à la pollution atmosphérique se produit durant toute la journée dans différents milieux, par exemple à l'école, dans la circulation et à l'intérieur, ce qui contribue à la classification erronée de l'exposition. Néanmoins, les estimations de l'exposition dans l'air ambiant au lieu de résidence ont souvent été utilisées dans le cadre d'études sur la pollution atmosphérique afin d'en examiner les associations avec la mortalité et d'autres résultats en matière de santé[15,32].

Mot de la fin

En règle générale, les conclusions de la présente analyse soutiennent l'observation que dans les grandes villes canadiennes, l'exposition des enfants à la pollution de l'air associée à la circulation est plus élevée dans les quartiers à faible revenu que les quartiers à revenu élevé, l'écart allant de 1,0 à 2,0 ppb. Les recherches portant sur les adultes donnent à penser que des différences d'exposition de cet ordre pourraient être significatives sur le plan médical, mais d'autres

Ce que l'on sait déjà sur le sujet

- Dans les grandes villes canadiennes, les problèmes de santé liés à la pollution, comme l'asthme, ont tendance à être plus courants chez les adultes et les enfants ayant un statut socioéconomique (SSE) faible par rapport à plus élevé.
- Dans ces villes, l'exposition à la pollution de l'air ambiant est généralement plus grande chez les adultes ayant un SSE inférieur.
- Ces écarts d'exposition à la pollution de l'air ambiant pourraient expliquer certaines des différences observées entre les personnes de catégories de SSE différentes en ce qui a trait aux problèmes de santé.

Ce qu'apporte l'étude

- Les enfants vivant dans une aire de diffusion (AD) à faible revenu de l'une des trois plus grandes villes canadiennes sont exposés à des concentrations annuelles moyennes de dioxyde d'azote (NO_2) plus élevées que les enfants vivant dans une AD à revenu élevé, l'écart allant de 1,5 parties par milliard (ppb) à 1,9 ppb.
- À Toronto et à Vancouver, on a constaté une exposition accrue au NO_2 dans l'air ambiant dans les AD où vivent un pourcentage relativement élevé de familles monoparentales.
- À Montréal et à Vancouver, on a constaté une exposition accrue au NO_2 dans l'air ambiant dans les AD où vivent un pourcentage relativement élevé d'enfants appartenant à une minorité visible.

études sont nécessaires pour déterminer si elles se traduisent par des différences dans les résultats en matière de santé chez les enfants. D'autres études sur la prévalence de l'asthme et les hospitalisations pour infection respiratoire chez les enfants pourraient être nécessaires pour permettre d'examiner les différences intra-urbaines quant aux problèmes de santé liés à la pollution de l'air. ■

Références

1. S. Cakmak, R.E. Dales et S. Judek, « Respiratory health effects of air pollution gases: modification by education and income », *Archives of Environmental and Occupational Health*, 61(1), 2006, p. 5-10.
2. M. Lin, Y. Chen, P.J. Villeneuve *et al.*, « Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada », *American Journal of Epidemiology*, 159(3), 2004, p. 294-303.
3. P. Mohai, B.S. Kweon, S. Lee *et al.*, « Air pollution around schools is linked to poorer student health and academic performance », *Health Affairs*, 30(5), 2011, p. 852-862.
4. M. Brauer, G. Hoek, P. Van Vliet *et al.*, « Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergy symptoms in children », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166, 2002, p. 1092-1098.
5. W.J. Gaudermann, E. Avol, F. Lurmann *et al.*, « Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide », *Epidemiology*, 16(6), 2005, p. 737-743.
6. N.A. Clark, P.A. Demers, C.J. Karr *et al.*, « Effect of early life exposure to air pollution on development of childhood asthma », *Environmental Health Perspectives*, 118(2), 2010, p. 284-290.
7. M. Rosenlund, F. Forastiere, D. Porta *et al.*, « Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren », *Thorax*, 64, 2009, p. 573-580.
8. M. Lin, D.M. Stieb et Y. Chen, « Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto: A case-crossover analysis », *Pediatrics*, 116, 2005, p. e235-240.
9. A.J. Chauhan, H.M. Inskip, C.H. Linaker *et al.*, « Personal exposure to nitrogen dioxide (NO_2) and the severity of virus-induced asthma in children », *Lancet*, 361, 2003, p. 1939-1944.
10. M. Buzzelli et M. Jerrett, « Geographies of susceptibility and exposure in the city: Environmental inequity of traffic-related air pollution in Toronto », *Canadian Journal of Regional Science*, 30(2), 2007, p. 195-210.
11. D.L. Crouse, N.A. Ross et M.S. Goldberg, « Double burden of deprivation and high concentrations of ambient air pollution at the neighbourhood scale in Montreal, Canada », *Social Science and Medicine*, 69, 2009, p. 971-981.
12. M. Jerrett, M.A. Arain, P. Kanaroglou *et al.*, « Modeling the intraurban variability of ambient traffic pollution in Toronto, Canada », *Journal of Toxicology and Environmental Health A*, 70(3-4), 2007, p. 200-212.
13. D.L. Crouse, M.S. Goldberg et N.A. Ross, « A prediction-based approach to modelling temporal and spatial variability of traffic-related air pollution in Montreal, Canada », *Atmospheric Environment*, 43(32), 2009, p. 5075-5084.
14. R. Wang, S.B. Henderson, H. Sbihi *et al.*, « Temporal stability of land use regression models for traffic-related air pollution », *Atmospheric Environment*, 64, 2013, p. 312-319.
15. D.L. Crouse, P.A. Peters, P.J. Villeneuve *et al.*, « Within and between-city contrasts in nitrogen dioxide and mortality in 10 Canadian cities; a subset of the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC) », *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, doi: 10.1038, 2015, p. 1-8.
16. G. Cesaroni, D. Porta, C. Badaloni *et al.*, « Nitrogen dioxide levels estimated from land use regression models several years apart and association with mortality in a large cohort study » *Environmental Health*, 11, 2012, p. 48.
17. M. Eeftens, R. Beelen, P. Fischer *et al.*, « Stability of measured and modelled spatial contrasts in NO(2) over time », *Occupational Environmental Medicine*, 68(10), 2011, p. 765-770.
18. Statistique Canada, *Dictionnaire du Recensement de 2006*, nº 92-566-X au catalogue, Ottawa, Statistique Canada, 2010.
19. R. Wilkins, P.A Peters, *FCCP+ Version 5K Guide de l'utilisateur. Logiciel de codage géographique basé sur les Fichiers de conversion des codes postaux de Statistique Canada mises à jour en mai 2011*, (nº 82F0086-XDB au catalogue) Ottawa, Statistique Canada, 2012.
20. M. Jerrett, R.T. Burnett, P. Kanaroglou *et al.*, « A GIS-environmental justice analysis of particulate air pollution in Hamilton, Canada », *Environment and Planning A*, 33, 2001, p. 955-973.
21. L. Anselin, *Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook*, Center for Spatially Integrated Social Science, 2005, disponible à l'address http://www.csiss.org/
22. L.P. Clark, D.B. Millet et J.D. Marshall, « National patterns in environmental injustice and inequality: Outdoor NO_2 air pollution in the United States », *PLOS One*, 9(4), 2014, p. e94431.
23. M.S. O'Neill, M. Jerrett, I. Kawachi *et al.*, « Health, wealth, and air pollution: Advancing theory and models », *Environmental Health Perspectives*, 111(16), 2003, p. 1861-1870.
24. R. Hiscock, L. Bauld, A. Amos *et al.*, « Socioeconomic status and smoking: a review », *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1248, 2012, p. 107-123.
25. E. Goodman, « The role of socioeconomic status gradients in explaining differences in US adolescents' health », *American Journal of Public Health*, 89(10), 1999, p. 1522-1528.
26. R. Morissette et R. Sultan, « Vingt ans dans la carrière des travailleurs immigrants et des travailleurs nés au Canada », *Aperçus économique* (Statistique Canada, nº 11-626-X au catalogue), 32, 2013, p. 1-4.
27. W.M. Brown et A. Lafrance, « Tendances de l'accession à la propriété selon l'âge et le revenu du ménage : facteurs associés à la décision de devenir propriétaire, 1981 à 2006 », *Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE)*, (nº 11F0027M au catalogue), Ottawa, Statistique Canada, 2013.
28. M. Frenette, G. Picot et R. Sceviour, « Direction des études analytiques : documents de recherche – Durée de la résidence dans les quartiers à faible revenu : évidence pour Toronto, Montréal et Vancouver », *Direction des études analytiques* nº 216 (nº 11F0019MIE au catalogue), Ottawa, Statistique Canada, 2004.
29. B. Chaix, S. Gustafsson, M. Jerrett *et al.*, « Children's exposure to nitrogen dioxide in Sweden: investigating environmental injustice in an egalitarian country », *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60, 2006, p. 234-241.
30. S. Dell, R.G. Foty, B. Beckerman *et al.*, « Effects of early childhood exposure to traffic related air pollution on asthma and wheeze in school aged children in Toronto », *Epidemiology*, 19(6), 2008, p. S317-318.
31. S. Dell, M. Jerrett, B. Beckerman *et al.*, « Presence of other allergic disease modifies the effect of early childhood traffic-related air pollution exposure on asthma prevalence », *Environment International*, 65, 2014, p. 83-92.
32. D.L. Crouse, P.A. Peters, A. van Donkelaar *et al.*, « Risk of non-accidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: A Canadian national-level cohort study », *Environmental Health Perspectives*, 120, 2012, p. 708-714.